



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

MÉNĚ TRADIČNÍ TECHNOLOGIE ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

LESS USUAL TECHNOLOGIES OF BIOMASS UTILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jana Červenáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláz, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Jana Červenáková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Méně tradiční technologie energetického využívání biomasy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V poslední době je biomasa velmi oblíbeným palivem pro domovní vytápění i jako zdroj energie pro centrální zásobování teplem či výrobu elektrické energie. K tomu se většinou využívá Rankyn-Clausiova cyklu, tedy parního kotle a parní turbíny nebo generování bioplynu a následné spalování v zážehovém motoru. Práce má za cíl zmapovat používání méně tradičních technologií.

Cíle bakalářské práce:

Přehled technologií

Biomasa a její vlastnosti

Využití méně tradičních technologií (ORC, suchá fermentace, zplyňování, pyrolýza) v ČR

Seznam literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

JANDAČKA, J. et al. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 16. 10. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavným cieľom bakalárskej práce je spracovanie menej tradičných technológií energetického spracovania biomasy. V prvej časti práce sú jednotlivé technológie popísané a rozdelené. Druhá časť bakalárskej práce popisuje pojem biomasa a jej špecifické vlastnosti. V poslednej časti sú opísané vybrané aplikácie menej tradičných technológií v Českej Republike, ktoré z biomasy ako paliva vyrábajú elektrickú energiu.

K Ú Ů VÉ SLOVÁ

Spaľovanie, pyrolýza, spaľovanie, torifikácia, fermentácia, bioplynové stanice, kogenerácia

ABSTRACT

The main aim of the bachelor thesis is to elaborate less usual technologies of biomass utilization. In the first part of thesis are individual technologies described and divided. The second part of the bachelor thesis describes the concept of biomass and its specific features. The last part describes selected applications of less traditional technologies in the Czech Republic which produce electric power by using biomass fuel.

KEYS WORDS

Combustion, pyrolysis, gasification, torrefaction, fermentation, biomass, biogas stations, cogeneration

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ERVENÁKOVÁ, J. *Mén tradi ní technologie energetického využíování biomasy*. Brno: Vysoké u ení technické v Brn , Fakulta strojního inženýrství, 2017. 49s. Vedoucí bakalá ské práce doc. Ing. Marek Balá–, Ph.D.

PREHLÁSENIE O PÔVODE

Svojim podpisom prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne s pomocou zdrojov uvedených v zozname použitej literatúry.

...í í í í í í í í í

Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcela poďakovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Marekovi Baláčiovi, Ph.D., za cenné rady, pripomienky a v neposlednom rade za čas venovaný pri konzultačných hodinách.

Obsah

ÚVOD	15
1 TECHNOLOGIE ENERGETICKÉHO SPRACOVANIA BIOMASY	16
2 TERMO-CHEMICKÁ PREMENA	17
2.1 Spaovanie.....	17
2.2 Splyovanie.....	18
2.2.1 Technológie splyovania.....	18
2.3 Pyrolýza	21
2.3.1 Pomalá pyrolýza.....	22
2.3.2 Rýchla pyrolýza	23
2.4 Torifikácia	24
3 BIO-CHEMICKÉ PREMENY.....	26
3.1 Anaerobná fermentácia	26
3.2 Mokrú fermentáciu.....	26
3.3 Suchú fermentáciu.....	27
3.4 Organický Rankinov cyklus	28
4 BIOMASA A JEJ VLASTNOSTI.....	31
4.1 Biomasa.....	31
4.2 Vznik biomasy.....	31
4.3 Rozdelenie biomasy	32
4.4 Energetické vlastnosti biomasy	33
4.4.1 Hrubý rozbor.....	34
4.4.2 Vlastnosti biomasy	35
5 VYUŽITIE MENEJ TRADIČNÝCH TECHNOLOGIÍ V ESKEJ REPUBLIKE.....	36
5.1 Bioplynové stanice.....	36
5.2 Delenie bioplynových staníc	37
5.2.1 Bioplynová stanica íov.....	38
5.2.2 Bioplynová stanica Tmperk	40
5.3 ORC in-talácie.....	42
5.3.1 Trhové Sviny	42
5.3.2 Tepláre T ebí óSever	43
5.4 Splyovacia elektrárne v Kozomín	45
6 ZÁVER.....	46
7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	47

ÚVOD

V dnešnej dobe je jedným z hlavných problémov na Zemi pre ľudenos obyvateľstva. S rastúcim počtom obyvateľov sa prejavuje mnoho problémov ako sú finančné, i uhlí hospodárske krízy, ktoré sú úzko spojené s expandovaním energií. Z tohto hľadiska sa do popredia v posledných rokoch dostáva problém s používaním vhodných zdrojov na výrobu energie. Pri zvyšovaní spotreby fosílnych palív sa začalo uvažovať nad inými druhmi palív ako sú napríklad biomasa.

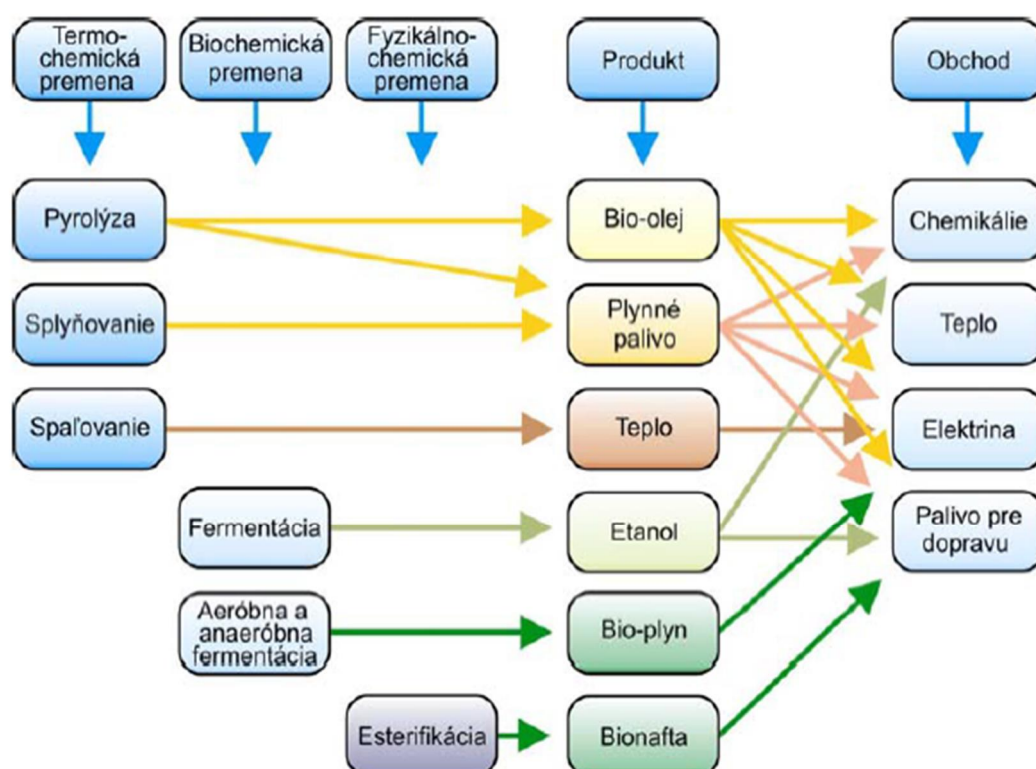
Biomasa sa ako palivo začala používať už v dávnych dobách, kde sa používala ako zdroj tepelnej, i uhlí svetelnej energie. Na základe týchto faktov sa začalo uvažovať o jej využití. Postupne sa zisťovali fakty a energetické vlastnosti jednotlivých druhov rôznych druhov biomasy a začala používať najtradičnejšia technológia, ktorou bolo spaľovanie. S pokrokom vedy a techniky sa popredia začali dostávať menej tradičné technológie spracovania biomasy ako sú splyňovanie, pyrolýza, fermentácia, i uhlí torifikácia.

V Českej Republike, tak ako aj v ostatných členských štátoch Európskej únie, prežívajú obnoviteľné zdroje svoju renesanciu. Je to spôsobené tým, že Európska únia si stanovila veľmi ambiciózne a presné ciele vo využívaní obnoviteľných zdrojov. Na základe toho, že biomasa a jej potenciál majú využitie v Českej Republike je cieľom mojej bakalárskej spracovať menej tradičné technológie za účelom získania elektrickej energie.

1 TECHNOLOGIE ENERGETICKÉHO SPRACOVANIA BIOMASY

Z energetického hľadiska možno energiu z biomasy získava rôznymi druhmi premeny. Najznámejším druhom získavania energie patria termo-chemické premeny. Najstarou a taktiež najpoužívanejou termo-chemickou premenou je spaľovanie, za ním nasleduje pyrolýza a splyňovanie. Na druhej strane poznáme aj ďalšie spôsoby spracovania biomasy ako sú bio-chemická premena, mechanicko-chemická premena, a fyzikálno-chemická premena.

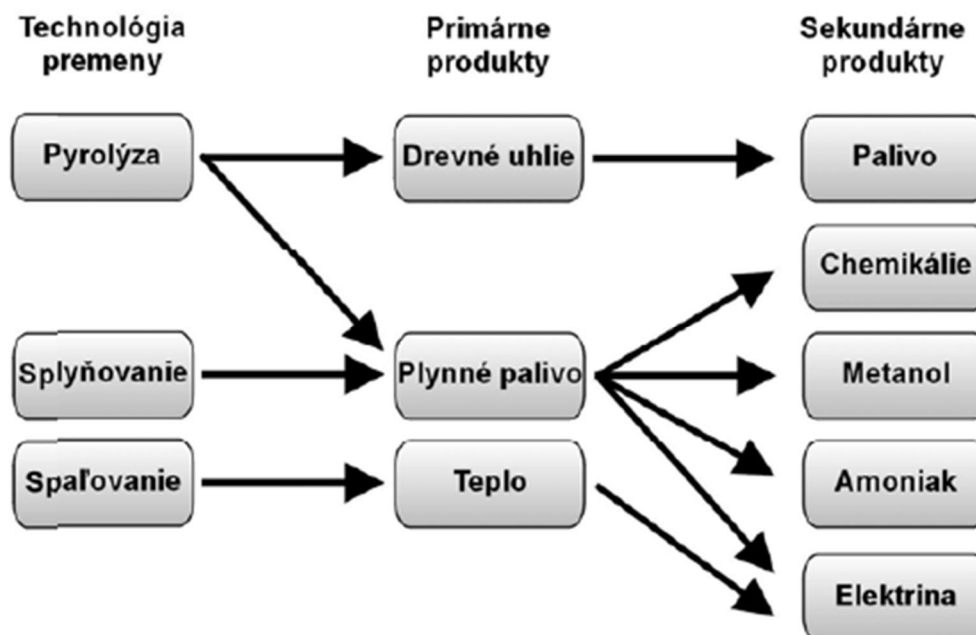
Na základe druhu biomasy a jej vlastností sme schopný použiť správny proces pri získavaní energie. Produktom jednotlivých premien sú bio-oleje, plynne palivá, teplo, etanol, bio-plyn, a bionafta. Tieto výsledné produkty sa následne používajú pri výrobe chemikálií, taktiež sa z nich získava tepelná a elektrická energia. Ďalším možným využitím je v doprave, kde sa bio-plyn a bionafta používajú ako palivo. Delenie jednotlivých technológií a ich výsledné produkty spolu s praktickým využitím sú prezentované na obr.1.1.



Obr. 1.1 Technológie spracovania biomasy [1].

2 TERMO-CHEMICKÁ PREMENA

Termo-chemická premena biomasy sa zaraďuje medzi suché procesy. Medzi technológie, ktoré vyúsťujú termo-chemickú premenu patrí spaľovanie, splynovanie a pyrolýza. Na obrázku 2.1. môžeme vidieť primárne produkty týchto premien a taktiež sekundárne produkty, ktoré sme schopní získať pri týchto technologických postupoch.



Obr. 2.1 Produkty termo-chemickej premieny a ich využitie [1].

2.1 Spaľovanie

Historicky najstarou metódou spracovania biomasy je spaľovanie. Táto technológia taktiež patrí medzi najrozsiahlnejšie, pretože je pri rôznych druhoch biomasy dokáže vytvárať najväčší podiel energie. Technológia má nízku výrobnú a prevádzkovú cenu, vysokú spoľahlivosť a v poslednom rade aj hľadiskom zaobchádzanie v pracovnom obeh.

Technológiu spaľovacieho procesu môžeme opísať vo všeobecnosti ako termochemický pochod, pri ktorom prebieha riadená príprava horľavej zmesi paliva a okysličovadla. Ich zlučovaním (horením) prichádza k intenzívnemu uvoľňovaniu tepla, čo spôsobuje prudké stúpanie teploty zmesi a vzniknutých spalín (produktu spaľovania) [1]. Proces spaľovania biomasy prebieha v štyroch základných fázach [1]:

- V prvej fáze dochádza k ohrevu a sušeniu biomasy, čím sa z paliva stráca vlhkosť.
- V druhej fáze nasleduje termický rozklad zložiek biomasy na plyny obsahujúce uhľovodíky ako CO, CH₄, destilátne produkty a pevné zložky.
- V tretej fáze nastáva spaľovanie plynnej zložky.
- V štvrtej fáze, ktorá je poslednou v procese spaľovania tuhých zložiek. Pre účinné spaľovanie je potrebné zabezpečiť vysokú teplotu ohrevu, dostatočný prívod vzduchu a dostatok kyslíka pre spaľenie biomasy.

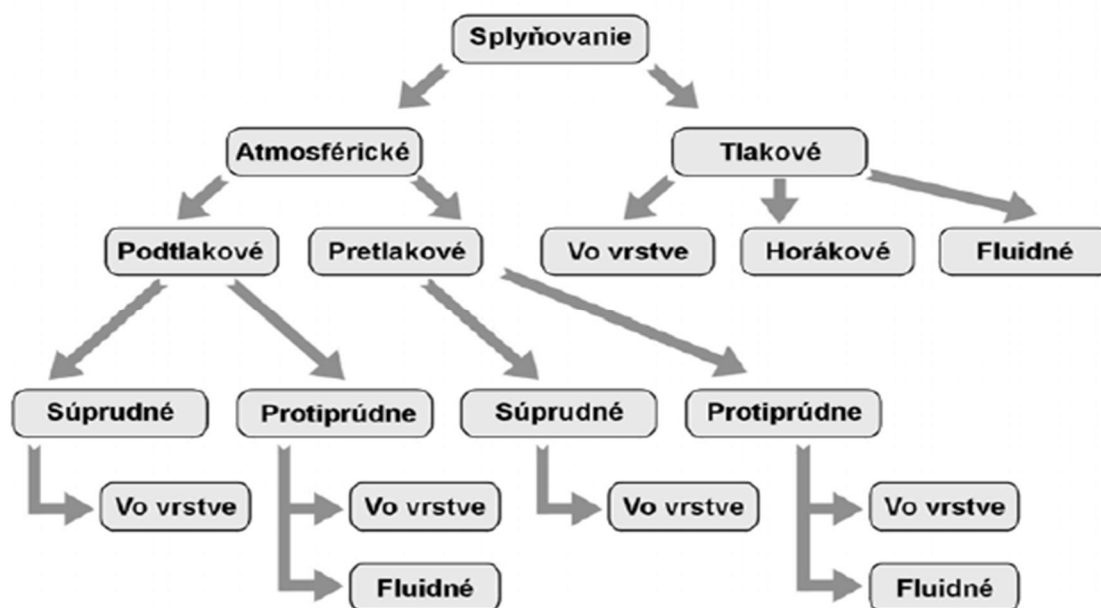
2.2 Splyňovanie

Splyňovanie biomasy predstavuje termo-chemický proces, pri ktorom postupne dochádza k oxidácii uhlíkových a vodnej pary z paliva a k ich následnej bezprostrednej redukcii na horľavé plyny, destilované produkty a minerálny zvyšok. K procesu dochádza za prístupu kontrolovaného množstva kyslíka, ktorým je zvyšok vzduchu alebo vodná para a potrebného reakčného tepla. Hlavnou snahou pri splyňovaní je transformovať čo najväčší podiel energie paliva do čo najvyššieho energetického obsahu plynu [6].

Výsledným produktom splyňovania je plyné palivo, ktoré prechádza istiacim procesom a bolo zbavené vody, respektíve vodnej pary v plyne. Takto upravené palivo je vhodné na spaľovanie, na pohon plynových motorov alebo ho využívajú plynové turbíny na výrobu elektrickej energie. Zloženie plynu závisí na rýchlosti chemickej reakcie a predpokladaných teplotách v reakčnej zóne. [1].

2.2.1 Technológie splyňovania

Technológie splyňovania môžeme deliť nasledovne podľa schémy (viď obr. 2.2.). Splyňovanie ako proces môžeme deliť na dve základné technológie a to tlakové a atmosférické. Tlakový spôsob premeny môžeme deliť na fluidný, horákový a vo vrstve. Na druhej strane atmosférické splyňovanie prebieha buď podtlakovo alebo pretlakovo. Každé z týchto spôsobov úprav sa delí na menšie podskupiny.



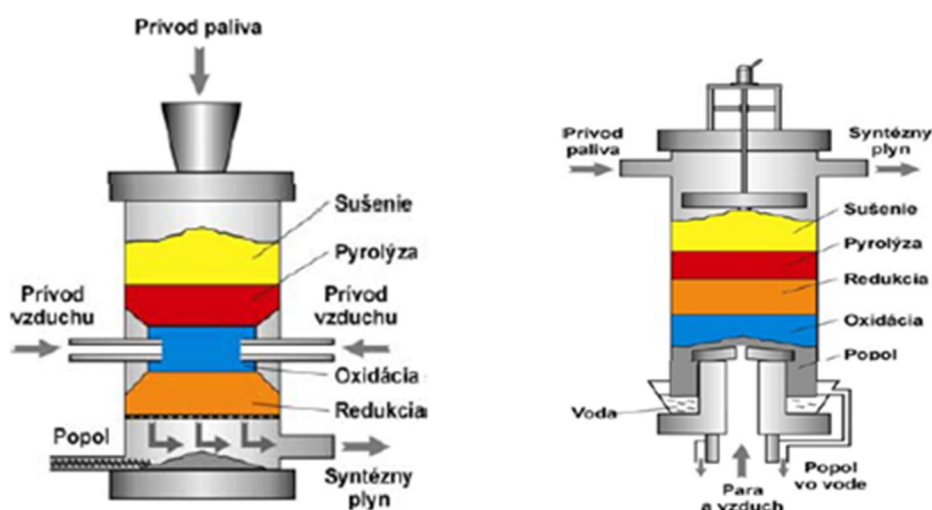
Obr. 2.2.1 Rozdelenie technológií splyňovania [1].

Splyňovacie zariadenia sa alej delia nasledovne na splyňovacie zariadenia na pevnom ložisku a fluidnom ložisku. Splyňovacie zariadeniu na pevnom ložisku sa inak hovorí aj splyňovanie pri vyšších teplotách okolo 1200 °C. Tieto zariadenia sa delia podľa toku privádzaného paliva, vzduchu a odvádzaného plynu: nasledovne [1]:

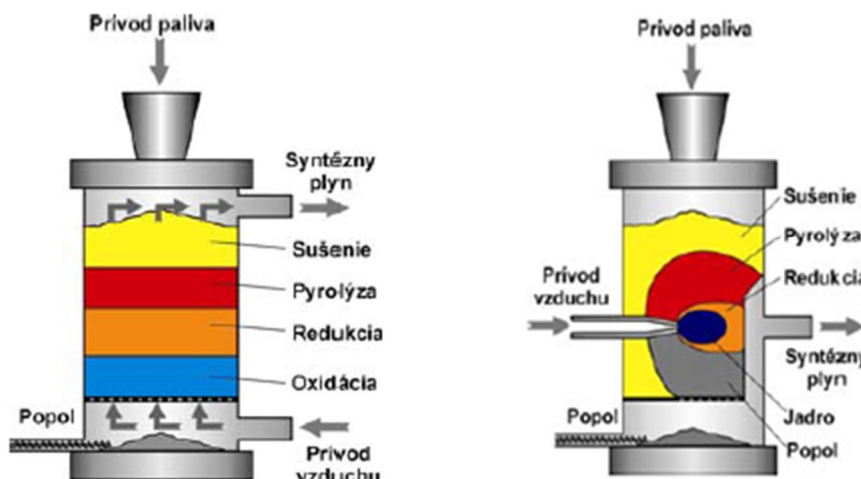
- *Súprúdne splyňovanie* pracuje na princípe takzvaného horúceho ro-tu a reduknej horúcej zóny odplyneného paliva. Palivo je dávkované do splyňovacejasti cez horný otvor rovnako ako aj vzduch a v-ak ten môže byť privádzaný aj cez bočné

otvory. V dolnej časti sa zachytáva popol a ďalšie neistoty. Vytvorený plyn sa odvádza z dolnej časti reaktoru, čo znamená, že má rovnaký smer ako privádzaná biomasa preto je súprudný. Hlavnou výhodou súprudného splyňovania je výroba plynu, ktorý obsahuje nízky obsah dechtu. Tento plyn sa bez väčších úprav môže používať v plynných motoroch [1], [2].

- *Súprudne splyňovanie s otvoreným jadrom* sa využíva na splyňovanie veľmi jemnej biomasy s malou objemovou hmotnosťou. Na spodku nádrže je nádoba s vodou kde ide vznikajúci popol [2].
- *Protiprúdne splyňovanie* funguje na opačnom princípe to znamená, že palivo je privádzané do reaktoru cez horný otvor a vzduch je privádzaný v spodnej časti do ohniska. Výsledný produktom je plyn odvádzaný v hornej časti zariadenia. Na rozdiel od súprudného splyňovania je obsah dechtu oveľa vyšší, čo si vyžaduje čistenie plynu pomocou vody čo vedie k produkcii fenolových vôd [2].
- *Krúžkový splynovač* pracuje na princípe, že palivo je dávkované v hornej časti reaktoru. Vzduch je privádzaný z bočných stien a popol sa odoberá v dolnej časti. Pôvodne tieto splynovače boli navrhnuté pre splyňovanie dreveného uhlia za vysokých teplôt okolo 1500 °C [1].



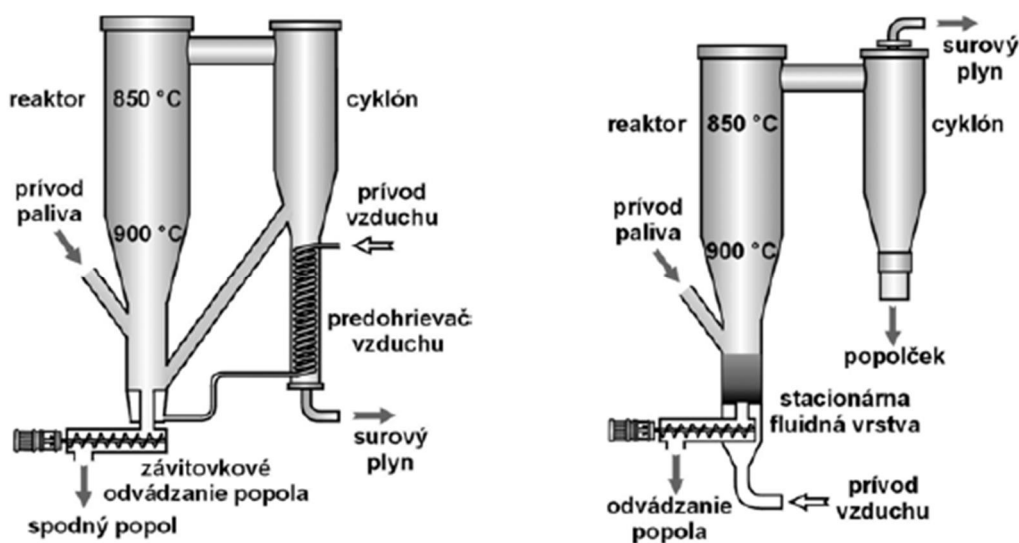
Obr. 2.2.2 Súprudný splynovač a súprudný splynovač s otvoreným jadrom [2].



Obr. 2.2.3 Protiprúdny splyňovač a krížový splyňovač [2].

Splyňovacie zariadenia na fluidnom ložisku, ktorému sa hovorí aj splyňovanie pri nízkych teplotách okolo 850 až 950 °C. Biomasa sa v kontakte s privádzaným plynom vytvára fluidnú vrstvu, ktorá sa chová ako voda. Delíme ich nasledovne podľa toho, či je fluidná vrstva stacionárna alebo cirkulujúca [2]:

- *Splyňovanie s cirkulujúcou fluidnou vrstvou* prebieha v generátore za atmosférického tlaku 1,5 až 2,5 MPa. Generátor sa skladá z reaktoru, kde vzniká plyn, cyklónu pre oddelenie prachových častíc z plynu a vratného potrubia, ktoré vracia zachytené častice do spodnej časti reaktoru, kde sa zbiera aj popol [2].
- *Splyňovanie so stacionárnou fluidnou vrstvou* stacionárna vrstva má zreteľné rozhranie medzi fluidnou vrstvou. Priemer reaktoru je daný rýchlosťou častíc, ktorá sa zvyčajne pohybuje medzi 2 m.s⁻¹ až 3 m.s⁻¹, čím sa zabráni úletu častíc z fluidnej vrstvy [2].



Obr. 2.2.4 Splyňovanie s cirkulujúcou fluidnou vrstvou a splyňovanie so stacionárnou fluidnou vrstvou [2].

2.3 Pyrolýza

V neposlednom rade medzi termo-chemické premeny patrí neodmysliteľne aj pyrolýza (inak nazývaná aj odplynenie). Pôvod slova pyrolýza je z gréckeho *pyros* oheň a *lysis* uvoľňovať. Pyrolýza predstavuje postup, pri ktorom je organický materiál tepelne spracovaný s vylúčením prístupu kyslíka, vzduchu a iných splyňovacích látok [8].

Biomasa vďaka svojim fyzikálnym vlastnostiam predstavuje ideálne palivo pre proces pyrolýzy. Najlepším príkladom, ktorý môže byť uvedený je drevo. Drevo možno vhodnými tepelnými úpravami previesť na produkty s vyšou koncentráciou energie. Pri pyrolýze dreva dochádza k vzniku kvapalného biooleja, ktorý môže byť následne využitý ako náhrada konvenčných motorových palív alebo ako surovina pre výrobu ďalších organických chemikálií. Okrem bio-oleja sú výslednými produktami aj pyrolýzny plyn a pevný zbytok. Pyrolýza je schopná okrem biomasy spracovať aj rôzne druhy materiálov ako sú pneumatiky, plastové odpady, komunálny odpad ako aj ďalšie nebezpečné druhy odpadov [9].

Keďže priebeh pyrolýzy prebieha v rozmedzí teplôt od 150 °C do 900°C, sa delí podľa trvania času na pomalú pyrolýzu, ktorej sa inak hovorí aj karbonizácia alebo rýchlu pyrolýzu. Taktiež medzi procesy patrí praženie inak nazývané aj torifikácia, ale tomu sa budeme venovať v samostatnej kapitole, pretože sa za ňu samostatne považuje. V rozmedzí rôznych teplôt prebiehajú chemické reakcie pyrolytického procesu, ktoré sú uvedené v tab. 2.3. Počas týchto premien sa vytvárajú produkty pyrolýzy, ktoré môžu mať tuhú, plynnú alebo kvapalnú podobu. Percentuálny podiel výsledného produktu počas karbonizácie a rýchlej pyrolýzy je uvedený v tab. 2.4.

Tab. 2.3 Chemické reakcie v priebehu pyrolytického procesu v závislosti na teplote [9].

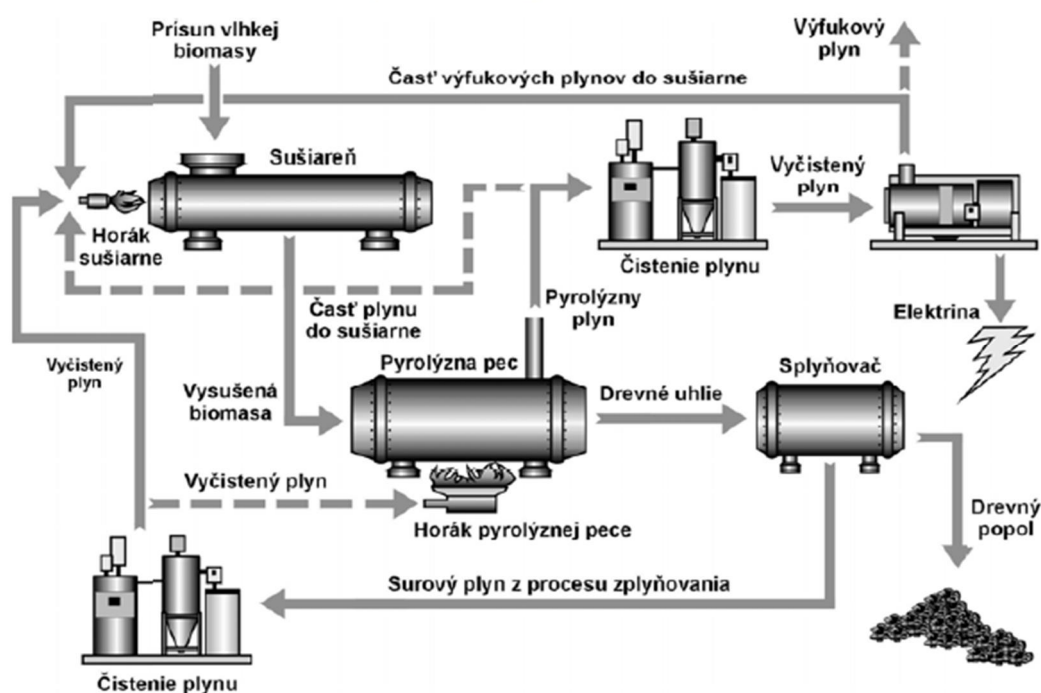
Teplota [°C]	Chemická reakcia
100 až 200	Termické sušenie, fyzikálne odťapenie vody
340	Deoxidácia, desulfurácia, odťapenie viazanej vody a $C\equiv N$, depolymerizáciou, začiatok odťapavaniu H_2S
380	Ťapenie alifatických uhľovodíkov, vznik metánu a iných alifatických uhľovodíkov
400	Karbonizačné fázy
400 až 600	Ťapenie väzieb uhlík-kyslík, uhlík-dusík
	Premena bitúmenových zložiek na pyrolýzne olej a decht
> 600	Krakovanie za vzniku plynných uhľovodíkov s krátkym uhlíkovým reťazcom, vzniká romátov podľa nasledujúcej schémy: dimerizáciu etylénu na butén, dehydrogenácia na butadién, diénová reakcie s etylénom na cyklohexán, termická aromatizácia na benzén a vyšou teplotou aromatické uhľovodíky

Tab. 2.4 Chemické reakcie v priebehu pyrolytického procesu v závislosti na teplote [9].

Teplota [°C]	Chemická reakcia
100 ó 200	Termické su-ení, fyzikální od-t pení vody
340	Deoxidácia, desulfurácii, od-tiepenie viazanej vody a CO ₂ , depolymerizáciou, za íatok od-tiepavaniu H ₂ S

2.3.1 Pomalá pyrolýza

Technológia pomalej pyrolýzy vyuffíva pomalý ohrevu materiálu za neprítomnosti kyslíka a to na teplotu presahujúcu 400 °C afl 500 °C. Táto teplota vyvoláva tepelný rozklad lignocelulózy za vzniku syntetického plynu, pyrolýzneho oleja a pyrolýzneho uhlia. Medzi výhody pomalej pyrolýzy patrí predov-etkým to, že jednotky ur ené pre pomalú pyrolýzu sú lacné a sú schopné spracova rôzne druhy vstupných surovín, no na druhej strane je ich vyuflitie problematické. Prí inou je pomalý prenos tepla v objeme materiálu a z tohto dôvodu je nutná dlhá doba zdrflanie spa ovacieho materiálu v komore [9]. Proces pomalej pyrolýzy sa môže pouffíva pri výrobe elektrickej energie ako môžeme pozorova na obrázku íslo 2.3.1.



Obr. 2.3.1 Vyuflitie pomalej pyrolýzy pri výrobe elektrickej energie [9].

2.3.2 Rýchla pyrolýza

Pri rýchlej pyrolýze dochádza k rýchlemu ohrevu paliva na teplotu 500 až 1000 °C za minútu bez prístupu kyslíka. Biomasa sa po as tohto procesu rozkladá na vznik plynov, pár, aerosólov a pevného koksu. Po skondenzovaní vzniká bio-olej. Pri pyrolýze je veľa dôležitých faktorov vstupné palivo, vytvorí vysokú rýchlosť ohrevu v celom priestore a v neposlednom rade zadržiava vzniknutú paru v reaktore po dobu cca 2 sekundy, následne ju ochladí aby skondenzovala a nepodliehala sekundárnym reakciám [9].

Pri rýchlej pyrolýze sa používa niekoľko základných typov reaktorov (viď tab. 2.3.2), v ktorých prebieha proces premeny paliva na bio-olej. Typ správneho reaktoru ovplyvňuje veľkosť paliva a účinnosť prenosu tepla do paliva. V tab. 2.3.2 sa taktiež môžeme dozvedieť o výhodách a nevýhodách jednotlivých reaktorov.

Tab.2.3.2 Výhody a nevýhody rôznych typov reaktorov pre rýchlu pyrolýzu [9].

Fluidný reaktor so stacionárne vrstvou	Spôsob ohrevu	Horúcim recyklovaným plynom
	Výhody	Dobrá regulácia teploty, vysoká teplota prestupu tepla, jednoduchá regulácia
	Nevýhody	Nutná malá veľkosť vstupných astíc pod 2mm
Fluidný reaktor so cirkulujúcou vrstvou	Spôsob ohrevu	Horúcim pieskom
	Výhody	Dobrá regulácia teploty, vysoká rýchlosť prestupu tepla, vysoko kapacitný reaktor možnosť použitia väčších astíc okolo 6mm
	Nevýhody	Komplikovaná hydrodynamika zariadenia, obrusovanie popelovín z biomasy, vysoký obsah popeloviny v oleji
Rotálny kufľový reaktor	Spôsob ohrevu	Horúcim pieskom
	Výhody	Odstredivá sila pohybuje s obsahom reaktoru
	Nevýhody	Nutná malá veľkosť vstupných astíc
Vákuový reaktor	Spôsob ohrevu	Stenou a pieskom
	Výhody	Pyrolýza prebieha za nižšej teploty, väčšie vstupné astice oproti iným reaktorom, nevyfúka nosný plyn
	Nevýhody	Nejde o klasickú pyrolýzu je potrebná dlhšia doba pre uvoľnenie teplotného podielu
	Spôsob ohrevu	Stenou
	Výhody	Kompaktný reaktor, nie je za potreby privádzajú plyn, nižšia

Teplotový reaktor		teplota procesu
	Nevýhody	Pohyblivé časti v horúcej zóne, možnosť problémov s prenosom tepla vo veľkom (priemyselnom) meradle, nízky výťažok
Ablatívny reaktor	Spôsob ohrevu	Stenou
	Výhody	Možné použiť väčšie častice suroviny, nie je potrebné inertný plyn, nízka teplota (<600 °C)
	Nevýhody	Rýchlosť reakcie je obmedzená prenosom tepla do reaktora nie do biomasy, drahý reaktor proces musí byť v reakčnej zóne riadený

2.4 Torifikácia

V dnešnej modernej dobe sa do popredia dostáva pojem torifikácia a to hlavne v západných štátoch ako sú napríklad Kanada, Dánsko, i Holandsko. Torifikácia alebo inak povedané praženie predstavuje tepelnú úpravu paliva v inertnej sústave. Pri tomto procese dochádza u paliva k odstráneniu vlhkosti, taktiež zbavuje palivo ťažkých teŕčích látok a v neposlednom rade dochádza k depolymerizácií dlhých sacharidových reťazcov [9].

Vhodným palivom pre proces praženia je biomasa, ktorá má nízky obsah vody a obsahuje výrazný podiel celulózy, hemicelulózy a lignitu. Výsledným produktom procesu praženia je hydrofóbny materiál so zvýšenou hustotou a vysokou mechanickou pevnosťou. Pre porovnanie uvedieme, že výsledné vlastnosti produktu praženia sa viac zhodujú s vlastnosťami uhlia ako dreva [9]. Vlastnosti jednotlivých palív sú uvedené v tab. 2.4.

Tab. 2.4 Vlastnosti materiálov [9].

	Drevo	Drevené pelety	Pražené pelety	Drevené uhlie	ierne uhlie	Hnedé uhlie
Obsah vlkosti (%)	35 - 45	7 - 10	1 - 5	1 - 5	10 - 15	15 - 20
Výhrevnos (MJ/kg)	9 - 12	15 - 18	20 - 24	30 ó 32	23 - 28	9 - 12
Te úce látky (%)	70 - 75	70 - 75	55 - 65	10 - 12	15 - 30	45 ó 50
Obsah pevného uhlíku (%)	20 - 25	20 - 25	28 - 35	85 - 87	50 - 55	50 - 70
Sypná hmotnos (kg/m³)	200 - 250	550 - 750	750 - 850	150 - 200	800 - 850	700 - 800
Energetická hustota (GJ/m³)	2.0 ó 3.0	7.5 ó 10.4	15- 18.7	6 ó 6. 4	18. 4 ó 24	16.5 - 20

3 BIO-CHEMICKÉ PREMENY

3.1 Anaerobná fermentácia

Anaerobná fermentácia patrí medzi zložitú bio-chemické procesy. Tento náročný proces prebieha vo vzduchu tesných nádržiach pri teplote okolo 5 až 60 °C, ktoré sa inak nazývajú fermentory. Vo fermentoroch dochádza k tomu, že vstupné palivo (biomasa) sa za ne rozklada vďaka mikroorganizmom. Rozklad prebieha v jednotlivých krokoch hydrolýze, acidogenezi, acetogenezi a metanogézu, ktoré na seba reazovo nadväzujú. Výsledným produktom tohto procesu je bioplyn. Zvyčajne sa skladá z metánu, oxidu uhličitého, sulfánu a niekoľkých minoritných plynov. V nasledujúcej časti si predstavíme jednotlivé kroky procesu [10]:

- *Hydrolýza*, ktorá sa uskutočňuje v prvej časti čiste v prostredí obsahujúcom vzdušný kyslík. Polymérne organické látky polysacharidy, tuky, bielkoviny sa spolu s pomocou anaeróbných baktérií rozkladajú na monoméry alkoholy a mastné kyseliny, pričom sa uvoľňuje vodík a oxid uhličitý.
- *Acidogenéza* je druhou časťou procesu kde následne dochádza k spotrebe zvyškov vzdušného kyslíka a vytváraniu anaeróbného prostredia, v ktorom vznikajú vyššie organické kyseliny.
- *Acetogenéza* je časťou procesu v ktorom sa baktérie menia na vyššie organické kyseliny a alkoholy sa premieňajú na kyselinu octovú, vodík a oxid uhličitý.
- *Metanogenéza* je poslednou fázou rozkladného procesu, v ktorom metanogénne baktérie rozkladajú kyselinu octovú na metán a oxid uhličitý a hydrogénne baktérie, ktoré následne vytvárajú metán z vodíku a oxidu uhličitého.

3.2 Mokrú fermentácia

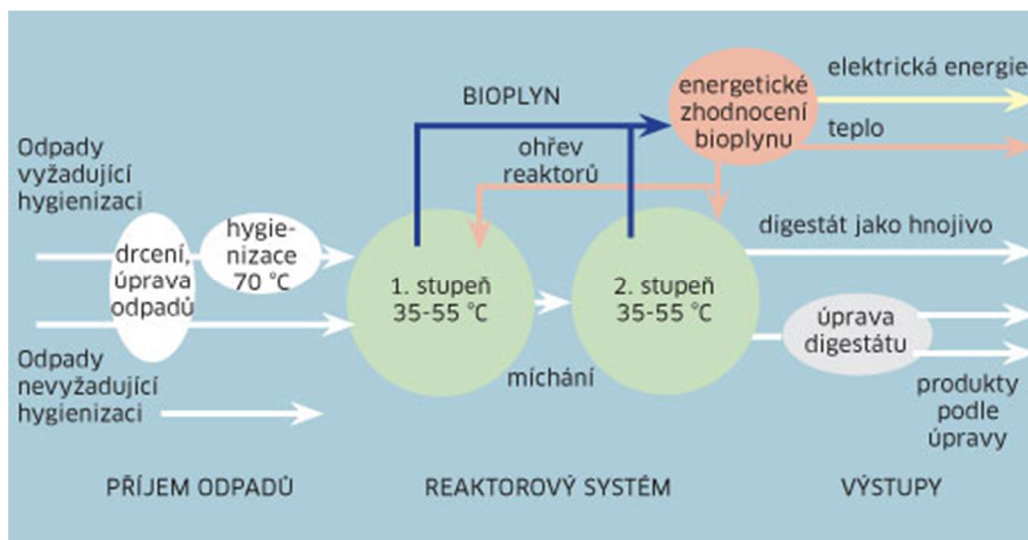
Mokrú fermentácia patrí medzi používané metódy získavania bioplynu oproti suchej fermentácii. Základným materiálom mokrej technológie je perinatálny materiál, ktorého priemerná hodnota suchiny obsahuje 12 %. Proces prebieha vo fermentoroch, do ktorých je kontinuálne privádzaný pracovný substrát. Priemerná teplota vo fermentoroch sa pohybuje okolo 35 až 55 °C.

Výhody mokrej fermentácie [11]:

- schopnosť spracovávať tekuté palivo
- technologicky overený proces
- kontinuálna výroba bioplynu
- homogenita výstupného digestátu
- s pracovným materiálom sa pracuje výhradne v uzavretom systéme

Nevýhody mokrej fermentácie [11]:

- kontinuálny prísun pracovného média
- veľká produkcia výstupného digestátu, ktorý má kvapalnú formu



Obr. 3.1 Dvojstupňová mokrá fermentácia [11].

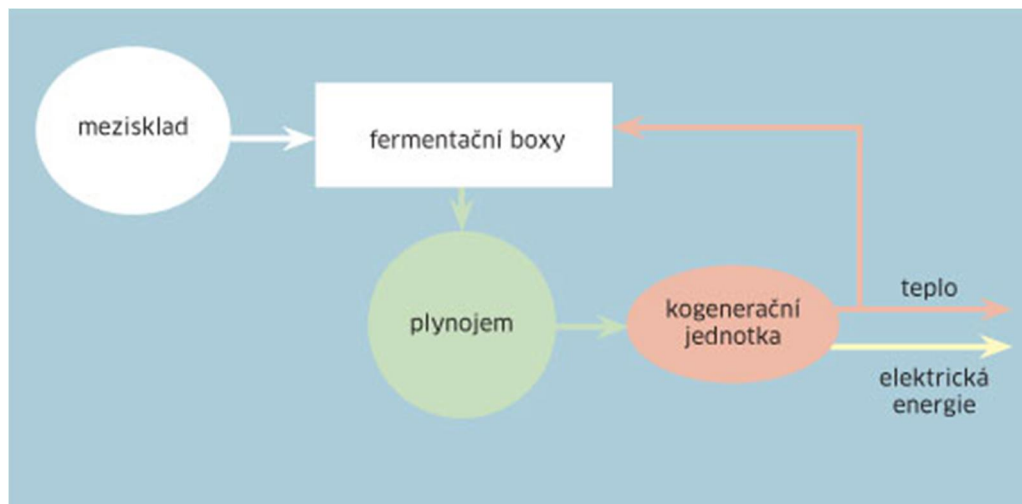
3.3 Suchá fermentácia

Suchá fermentácia sa používa na úpravu suchej biomasy, ktorá obsahuje podiel sušiny okolo 50 až 60 %. Biomasa sa udržiava vo fermentoroch po dobu 4 až 5 týždňov, kde postupne dochádza k úbytku kyslíku a začne prebiehať fermentácia, ktorej výsledným produktom je bioplyn. Výhodami suchej fermentácie sú najmä jej nenáročnosť na údržbu a prevádzku, takisto nízka energetická náročnosť, automatická výroba bioplynu bez minimálneho zásahu ľudského faktora, možnosť rozšírovanie fermentačnej stanice v prípade potreby a v neposlednom rade výroba kvalitného hnojiva. Najčastejšie sa pre suchú fermentáciu používajú nasledovné vstupné suroviny:

- poľnohospodárske odpady (tráva, kukuričná a obilná siláž, slama)
- sypné formy biomasy
- suchý hnoj domácností a poľnohospodárskych zvierat
- komunálny odpad (tráva, zvyšky potravy z domácností)
- organický odpad

Nevýhody suchej fermentácie [11]:

- nižšia účinnosť rozkladu v porovnaní s mokrou fermentáciou
- nutná otvorená manipulácia s bioodpadom pri naskladnení a vyskladnení
- na začiatku procesu treba pokračovať kontinuálne vytváranie bioplynu
- viac náročný nábeh technológie
- nie je vhodná pre biologický odpad, ktorý potrebuje hygienizáciu ako napríklad kuchynský odpad



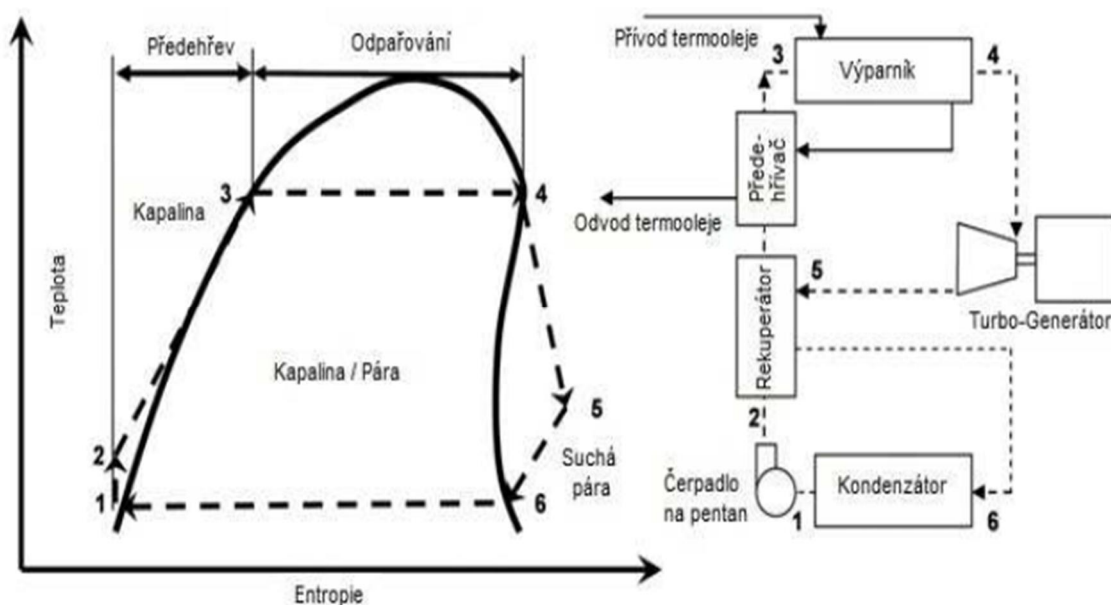
Obr.3.2 Suchá fermentácia (garáľové usporiadanie) [11].

3.4 Organický Rankinov cyklus

Organický Rankinov cyklus (ORC) je kondenzačný cyklus, ktorý slúži na výrobu energie z organických látok, ktoré sa získavajú z biomasy. V základom ORC cyklyse sa používa ako pracovná látka voda, respektíve v parnom skupenstve vodná para a v-ak pri ORC sa používa zmes organických zlúčenín, ktorými sú napríklad silikónový olej, chladiva at . Tieto organické látky majú v porovnaní s vodou vyšiu cenu a výrazne nižšie výparné teplo. Pre uvedenie silikónový olej má veľmi dobré termodynamické vlastnosti ako je napríklad, že pri teplote okolo 300 °C zostáva v kvapalnom stave pri značne nižších hodnotách tlaku oproti vode.

Základnými výhodami oproti klasickým obehom sú [14]:

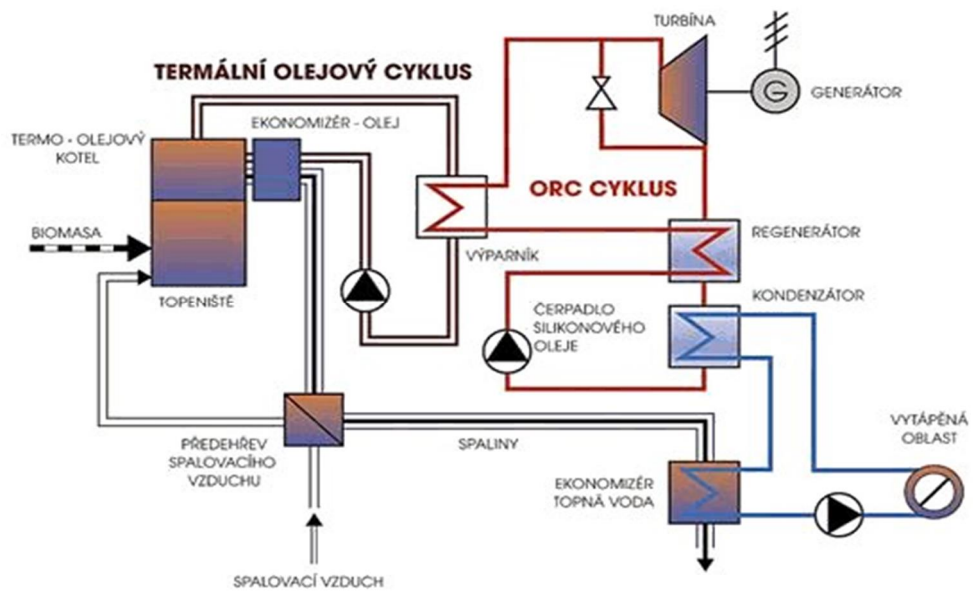
- nižšie otáčky turbíny umožňujú priamy pohon generátora bez prevodovky
- minimálne erózie lopatiek turbín s dôvodu organického média
- nižší tlak a teplota v obehu
- zároveň celkom vysoká účinnosť aj pri nižších teplotných spádoch
- nenáročná obsluha a údržba
- nižšie náklady na prevádzku a údržbu



Obr. 3.3 Schéma ORC a T-s diagram [7].

Na obr. 3.3 je uvedený základný ORC systém a taktiefl zobrazený v T-s diagrame. Na druhej strane si taktiefl uvedieme ukáflku zapojenie ORC p i výrobe energie (vi .obr 3.4). alej si v jednotlivých bodoch uvedieme o prebieha v jednotlivých dejoch v ORC okruhu:

- Dej 1-2 adiabatická kompresia, z nízkeho tlaku sa pomocou erpadla prechádza na výšší tlak.
- Dej 2-3 pracovná médium je ohrievané v rekuperátory pomocou zbytkového tepla z turbíny, kde postupuje cez prihrievák kde sa taktiefl predohrieva pomocou zbytkového termooleja.
- Dej 3-4 pracovné médium o vysokom tlaku prechádza cez výparník, kde sa privádza termoolej, ktorý prehrieva médium na sýtu paru.
- Dej 4-5 sýta pára nasledovne expanduje v turbíne a pohá a genetátor.
- Dej 5-6 para z turbíny putuje do rekuperátoru, kde ohrieva pracovné médium.
- Dej 6-1 para vstupuje do kondezátoru, kde sa premení na kvapalné médium, týmto sa pracovný okruh uzavrie a opakuje.



Obr. 3.4 Schematické zapojenie ORC cyklu pri využití biomasy [14].

4 BIOMASA A JEJ VLASTNOSTI

Biomasa sa ufl od dávnych ias považovala za zdroj tepelnej a svetelnej energie pre loveka. V dne–nej dobe v–ak máme moderné technológie, ktorými vieme získa z biomasy aj elektrickú energiu, po prípade vyuflíva jej potenciál ako pohonnú hmotu, ktorou výrazne od ah íme flivotné prostredie.

V eskej republike, ako aj v ostatných –tátoch Európskej únie preflívajú obnovite né zdroje svoju renesanciu. Týmto pádom záujem o biomasu v posledných rokoch rastie a e–te do budúca bude ma íste ve ké potencionálne vyuflie v nových technológiach.

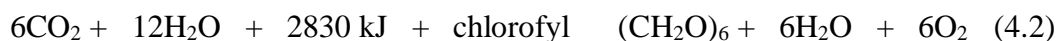
4.1 Biomasa

Biomasu z energetického hradiska môflme definova ako zdroj obnovite nej energie, ktorý vznikol pomocou fotosyntézy a z hmoty flivo í–neho pôvodu. Na porovnanie sa môflme pozrie na definíciu pojmu biomasa, ktorá ma pod a smernice európskeho parlamentu a rady . 2003/30/ES nasledujúcu podobu: šbiomasaõ znamená biologicky rozloflite né frakcie výrobkov, odpadu a zvy–kov z po nohospodárstva (vrátane rastlinných a flivo í–nych látok), lesníctva a príbuzných odvetví, ako aj biologicky rozloflite né frakcie priemyselného a komunálneho odpadu [12].

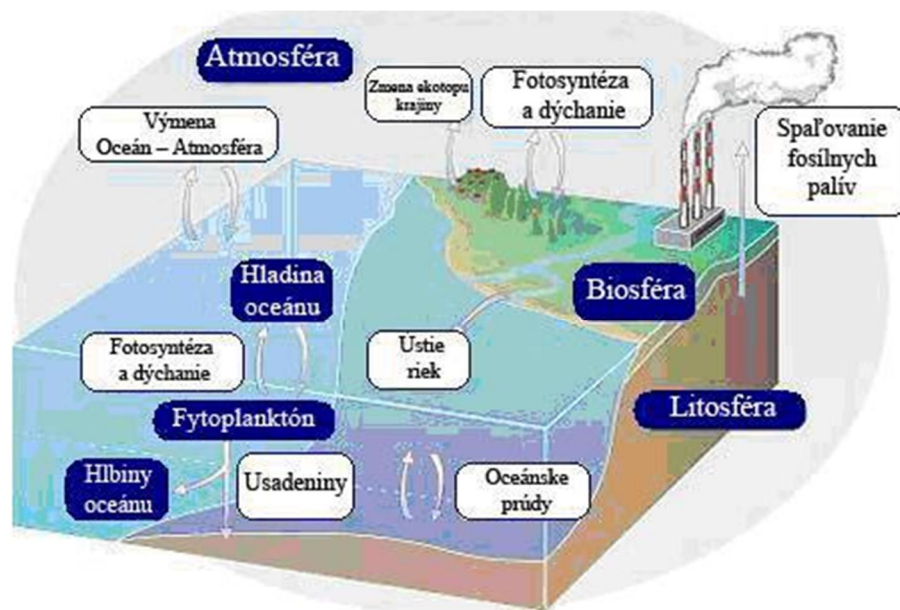
Biomasa na energetické ú ely vzniká hlavne ako odpad pri priemyselnej, stavebnej, lesníckej, po nohospodárskej, flivo í–nej výrobe ale v neposledom rade aj komunálny odpad. Z týchto dôvodov si pod pojmom biomasa môflme predstavi drevnú hmotu a jej odpad, slamu, trávnu a iné po nohospodárske zbytky, exkrementy úflitkových zvierat, energeticky vyuflite ný odpad vznikajúci udskou ínnos ou a plynné odpady z istiarni odpadových vôd a skládok. Efektívnym spracovaním týchto rôznych foriem biomasy môflme dosiahnu kvalitné alternatívne zdroje energie.

4.2 Vznik biomasy

Pre rast rastlín je ve mi dôleflitý oxid uhli itý z atmosféry a taktiefl voda zo zeme, ktoré sa pomocou fotosyntézy pretvárajú na uh ovodíky a tým vytvárajú stavebné lánky biomasy. Slne ná energia, ktorá pôsobí na rastliny je hybnou zloflkou fotosyntézy je uloflená v chemických väzbách. Pri technologickom spracovaní biomasy vieme v získa túto energiu, ktorá je uskladnená v chemických väzbách. Pri klasickom procese prebieha spájanie kyslíku zo vzduchu s uhlíkov rastline, pri om vzniká oxid uhli itý a voda. Chemický priebeh fotosyntézy je moflné zapísa pomocou rovnice 4.2. Proces pracuje cyklicky v uzavretom obehu (vi . obr. 4.1).



oxid uhli itý + voda + energia + chlorofyl glukóza + voda + kyslík



Obr. 4 1 Kolobeh oxidu uhli ítého v prírode [13].

4.3 Rozdelenie biomasy

V úvodnej asti tejto kapitoly sme si definovali pojem biomasa a vysvetlili si na základe akých princípov vzniká. Taktiefl vieme aká je príroda rozmanitá a tým pádom je schopná produkova rôzne druhy biomasy. Na druhej strane aj udská populácia vyprodukuje množstvo odpadov, z ktorých sme schopní získa energiu. Na základe týchto poznatkov je dôleflité biomasu rozdeli do skupín na základe spoločných –pecifických vlastností.

Biomasu na základe pôvodu delíme na [1]:

- rastlinnú biomasu
 - dendromasu (drevné odpady)
 - fytomasu (jednorodé rastliny)
- živočíšnu biomasu (zoomasu)
- komunálne a priemyselné odpady

Biomasu delíme podľa zdroja vzniku:

- lesnú biomasu (napr. drevo, konáre, piliny, kôra)
- poľnohospodársku biomasu (napr. obilie, slama)
- biologicky rozložiteľné priemyselné a komunálne odpady

Delenie biomasy na základe energetického využitia

- zámerne pestovaná biomasa
 - rýchlorastúce dreviny
 - dreviny (napr. agát, jelč, topol, vrb)
 - stebelniny (napr. pšenica, repka sena)
 - energetické rastliny s vysokým obsahom cukru na výrobu alkoholu (napr. cukrová repa, zemiaky) a bionaftu (repka olejná)
 - poľná a vegetačná biomasa
 - jednoročné byliny
 - viacročné a vytrvalé
 - rýchlo rastúce dreviny
- odpadová biomasa
 - drevný odpad
 - lesná kôra
 - kôra
 - piliny, hobliny, brusný prach
- rastlinné odpady z poľnohospodárskej výroby
- odpady zo živočíšnej výroby
- komunálne a priemyselné odpady
- odpady z potravinárskej výroby

Biomasa podľa druhu plodiny:

- lignocelulózne plodiny sú výhodným zdrojom energie, ktorý sa využíva na výrobu biopaliva a bioplynu. Tieto materiály obsahujú najmä celulózu, hemicelulózu a lignit. Majú zložitú bunkovú stenu, odolnú voči mikrobaktériám (napr. dreviny, obilniny, trávnaté porasty).
- olejnaté slúžia pre výrobu surových olejov (napr. repka olejná, slnečnice).
- škrobovo-cukrovité obsahujú cukor a škrob (napr. zemiaky, cukrová repa, obilie).

4.4 Energetické vlastnosti biomasy

Energetické vlastnosti biomasy nám určujú základné faktory, bez ktorých sa neobídeme pri výbere vhodného paliva. Na základe vlastností biomasy sme schopní použiť správnu technológiu pri energetickom využití biomasy. Ako sme si uviedli v úvodnej časti sme schopní použiť rôznorodé technológie od tradičného spaľovania až po menej tradičné techniky ako sú pyrolýza, spaľovanie, anaerobná fermentácia, ORC a praflenie. Preto je nevyhnutné poznať vlastnosti paliva aby sme zvolili najefektívnejšiu technológiu a získali maximálny energetický potenciál. V nasledujúcej časti si podrobne rozoberieme hrubý rozbor paliva a vyzdvihneme dôležité vlastnosti paliva, ktoré sledujeme pri biomase.

4.4.1 Hrubý rozbor

Keďže biomasu, priemyslové a komunálne odpady patria medzi tuhé palivá, je nevyhnutné sa v prvom zaoberať ich základným zložením. Zloženie paliva je určené v prvom rade hrubým rozborom, pri ktorom sa určuje podiel obsahu vody W^{h} , horaviny (h) a popolovín A^{h} obsiahnutých v palive (viď tab. 4.4). Preto sa vychádza zo základného vzorca [4]:

$$h + W^{\text{h}} + A^{\text{h}} = 100 \% \quad (4.4)$$

V druhom rade sa určuje elementárny obsah horaviny, pri ktorom sa určuje aký majú jednotlivé prvky pomerne zastúpenie v horavine.

Tab.4.1 Hrubý rozbor tuhých palív [4].

Prírodná voda	Surové palivo		
	Voda W^{h}	Popolovina A^{h}	Horavina h
balast			prchavý podiel tuhý podiel
			bezvodné palivo (suchina)
Spálením vznikne			
vodná para	tuhé zvyšky (škvrta, struska, popól)		spaliny

- Voda je neodmysliteľnou súčasťou tuhých palív, taktiež ako aj u biomasy. Pri biomase záleží obsah vody od toho akého je pôvodu, spôsobu a dĺžky uskladnenia. Preto sa s vodou obsahujúcou v palive väzbovou spájajú nežiadúce účinky ako sú [4]:
 - znížovanie výhrevnosti paliva
 - spôsobuje problémy pri spaľovaní
 - zvyšuje objem spalín
 - zvyšuje komínovú stratu
 - urýchľuje koróziu
 - spôsobuje problémy pri doprave
- Popolovina v palive nám predstavuje minerálne látky ako sú napríklad kremičitany, utľičitany, sírany a alúmináty, ktoré sú súčasťou paliva pred jeho spálením. Taktiež tento pojem zahrňuje piesok, hlinu, kamienky, ktoré sa nám do paliva dostávajú pri ťažbe, doprave a skladovaní. Pri procese spaľovania sú výsledným produktom tuhé zvyšky –škvrta, struska a popól [4].
- Horavina je nositeľom tepla pri spaľovaní a skladá sa z piatich prvkov (uhlík, siera, vodík, dusík, kyslík). Horavina je veľmi významná, pretože je nositeľom tepla pri procese spaľovania [4].

4.4.2 Vlastnosti biomasy

- Spalné teplo sa označuje Q_{sp} má jednotku (kJ.kg^{-1}) vyjadruje nám teplo uvoľnené dokonalým spálením 1kg paliva pri ochladení spalin na teplotu 20 °C, pričom voda v spalinách z kondenzuje a je v takzvanej kvapalnej fáze [4]. V laboratóriách sa určuje spalné teplo pomocou prístroja, ktorý sa nazýva kalolimeter. Do kalolimetrickej bomby sa dá 1kg paliva, ktoré sa následne spáli v kyslíkovej atmosfére pri tlaku 2,5 MPa. Po tomto procese je kalolimetrická bomba ponorená vo vodnom kúpeli. Na základe získaného vzorku sa dopočíta spalné teplo pomocou vzorca [4] :

$$Q_{\text{sp}} = \frac{V \cdot \Delta T}{G} \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (4.4.1)$$

kde V (kJ.kg^{-1}) vodná hodnota kalometru,

G (kg) hmotnosť paliva

- Výhrevnosť sa označuje Q_{v} má jednotku (kJ.kg^{-1}) vyjadruje nám teplo uvoľnené dokonalým spálením 1kg paliva pri ochladení spalin na teplotu 20 °C, pričom voda v spalinách zostáva v plynnej fáze [4]. Výhrevnosť paliva je možné určiť zo zmeraného spálneho tepla pomocou vzorca:

$$Q_{\text{v}} = Q_{\text{sp}} - r \cdot (W + 8,94 \cdot H_{\text{v}}) \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (4.4.2)$$

kde W (-) obsah vody v palive

r (kJ.kg^{-1}) kondenzačné teplo vody

H_{v} (-) obsah vodíku v surovom palive

- Síra sa v palive vyskytuje v rôznych podobách (organická, pyritická, síranová). Obsah síry v palive patrí medzi neľahodivé, pretože:
 - zvyšuje obsah SO_2 a SO_3 v spalinách
 - zvyšuje rosný bod spalin
 - znižuje charakteristické teploty popola
 - vo forme tvrdého pyritu FeS_2 z ťaží mletie
- Zrnenie paliva nám udáva percentuálne zastúpenie určitej veľkosti zrna v palive. Zrnenosť sa pohybuje v rôznych veľkostiach od prachu, cez granuly, pelety, brikety, -tiepku, klády, poľená, stébelninu až po balíky, ktoré sú lisované a vkladajú do spaľovacieho ohniska ako celok. Z veľkosti zrnienia paliva vyplýva, či pre každú veľkosť paliva je potrebné použiť špeciálne dávkovacie zariadenie. Z týchto dôvodov zrnenie paliva ovplyvňuje jeho cenu. Čím má palivo menšiu veľkosť, teda je drobnejšie, tým sa ľahšie dávkuje do ohniska ale na druhej strane sa viac investícií vynaloží na jeho úpravu [13].
- Sypná hmotnosť nám udáva hmotnosť voľne sypaného paliva. Pre názornú ukážku si uvedieme, či hodnota sypnej hmotnosti pre drevné pelety sa pohybuje okolo 600 kg.m^{-3} .

5 VYUŽITIE MENEJ TRADIČNÝCH TECHNOLOGIÍ V ESKEJ REPUBLIKE

V nasledujúcej časti bakalárskej práce sa budeme venovať praktickým aplikáciám menej tradičných technológií za účelom výroby elektrickej energie. Jednotlivo sa budeme venovať bioplynovým staniciam, ktoré patria medzi najstaršie. Nasledovne prejdeme na ORC aplikácie a splynovanie. V Českej Republike sa zatiaľ nepodarilo rozbehnúť žiadnu reálnu aplikáciu na pyrolýzu. Jeden skúšobný projekt však prebiehal na Vysokej škole báňskej, kde bola postavená jednotka, ktorá bola schopná spracovať 50 až 200 kg/hod odpadného materiálu ako sú pneumatiky, plasty a biomasa [8].

Ešte pred prezentáciou jednotlivých aplikácií je dôležité spomenúť, že výroba elektriny a tepla z biomasy v Českej republike má v posledných rokoch rastúci trend. Rast hlavne zaznamenala výroba elektrickej energie z biomasy a to vďaka prevádzkovej podpore výroby elektriny z biomasy. V roku 2015 bolo podľa štatistik Ministerstva priemyslu a obchodu vyrobené z biomasy 2 091 GWh elektriny, čo je asi 2,5% celkovej hrubej výroby elektriny v ČR. Okolo 1 062 GWh elektriny bolo vyrobených spaľením dreveného odpadu, kôry, kôry, 688 GWh elektriny bolo vyrobených spaľením celulózovej výluhov a 341 GWh spaľením rastlinných materiálov [25].

5.1 Bioplynové stanice

V Českej Republike sa podľa Českej bioplynovej asociácie nachádza 487 bioplynových staníc. Základným zdrojom bioplynu v 317 bioplynových staniciach je biomasa, ktorá je najstaršie pochádza zo živočíšneho odpadu, exkrementov a poľnohospodárskych odpadov. V ďalších 73 prípadoch je zdrojom bioplynu odpad, ktorý môžeme deliť na komunálny, priemyslový a skládkový. Posledným zdrojom pre bioplynové stanice sú OV (ističky odpadových vôd), v celkom množstve 97 staníc [18]. Výsledky sú prezentované v tabuľke číslo 5.1. Inštalovaný výkon v bioplynových staniciach je zvyčajne kombináciou tepelného a elektrického výkonu. V menejších prípadoch sa preferuje použitie tepelného alebo elektrického výkonu samostatne.

Tab. 5.1 Bioplynové stanice v Českej Republike [18].

Celkový počet bioplynových staníc	Zdroj bioplynu				
	biomasa	odpad			OV
		komunálny	priemyslový	skládky	
487	317	7	11	55	97

V Atlase zariadení využívajúcich obnovoviteľné zdroje energie [5] je prehľadne spracovaných vybraných 177 bioplynových staníc v Slovenskej republike (viď Tab. 5.2). Podľa tohto zdroja vyplýva, že zdrojom bioplynu v 162 prípadoch je biomasa, v 9 prípadoch odpad a v 6 prípadoch OV. Bioplynové stanice majú inštalovaný tepelný výkon v deviatich bioplynových staniciach. V troch prípadoch sa jedná o samostatný elektrický inštalovaný výkon, a v ak najrozšírenejším spôsobom je kombinácia tepelno a elektrického výkonu, čo sa používa v 149 bioplynových staniciach.

Tab. 5.2 Bioplynové stanice podľa atlasu [5].

Celkový počet bioplynových staníc	Zdroj bioplynu			Inštalovaný výkon (kW)		
	biomasa	odpad	OV	tepelný	tepelno-elektrický	elektrický
177	162	9	6	25	149	3

5.2 Delenie bioplynových staníc

Podľa počtu bioplynových staníc, ktoré boli uvedené v predchádzajúcej časti môžeme usúdiť, že patria medzi populárny spôsob spracovania biomasy. Bioplynových staníc je viacero druhov, preto je dôležité ich definovať do základných skupín. Podľa Slovenskej bioplynovej asociácie môžeme deliť bioplynové stanice nasledovne [18]:

- Poľnohospodárske bioplynové stanice* ich základným vstupným zdrojom sú odpady zo živočíšnej výroby ako sú hnojovka a hnoj. Taktiež medzi vstupné palivo patria energeticky pestované plodiny ako aj ich odpady (kukurica, repa, slama). Poľnohospodárske bioplynové stanice sú situované najmä v objektoch poľnohospodárskeho družstva. Podľa Ministerstva poľnohospodárstva a lesného hospodárstva pre biomasu výstavba bioplynovej stanice tohto typu by mala prebiehať podľa nasledovných krokov: 1. presná príprava projektov, 2. dostatok kvalitných surovín, 3. výťažnosť bioplynu, 4. spolupráca s miestnou samosprávou, 5. spoľahlivá a overená technológia, 6. optimalizácia investícií nákladov, 7. možnosť kogenerácie jednotky, 8. využitie odpadového tepla, 9. nakladanie s digestátom, 10. ďalšie možnosti využitia [23].
- Bioplynové stanice komunálne* pracujú s biologickým odpadom, ktorý zahŕňa odpad z údržby zelene (tráva, konáre, atď.), biologický odpad z domácností, reštaurácií a jedální (potrava, zvyšky jedla). Komunálne bioplynové stanice majú nároky na spracovanie vstupného paliva a to z dôvodu nepriemneho zápachu, ktorý treba minimalizovať [23].
- Bioplynové stanice priemyslové* spracovávajú najmä priemyselné odpady, a kaly z prevádzok ako sú napríklad OV. Tieto vstupné suroviny majú nároky na spracovanie, preto sa kladie väčší dôraz na hygienické nároky tak isto ako na technologické postupy [23].

- d) *Bioplynové stanice spracujúce* skládkový bioplyn vznikajú na miestach kde sú skládky. Skládkový plyn označovaný ako LFG z anglického spojenia landfill gas je plyn obsahujúci najmä metán, CO₂, vodnú paru a ďalšie plyny. Rýchlosť tvorby bioplynu závisí na druhu odpadu niekedy sa bioplyn vyrába rýchlejšie ako teraz a to z dôvodov, keď odpad neobsahoval toľko plastov a syntetických látok, ktoré sa nerozkladajú (viď tab. 5.3) [23].

Tab. 5.3 Merná rýchlosť tvorby skládkového plynu a dostupný elektrický výkon uložených odpadov predtým a teraz [23].

	Merná rýchlosť tvorby bioplynu (m³ / m²h)	Približný dostupný elektrický výkon z 1000 m³ uložených odpadov (kWel / 1000 m³)
Staršie skládky (80 roky)	0,00100	9
	0,00050	4,5
Súčasné skládky	0,00025	2,2
	0,00010	0,9

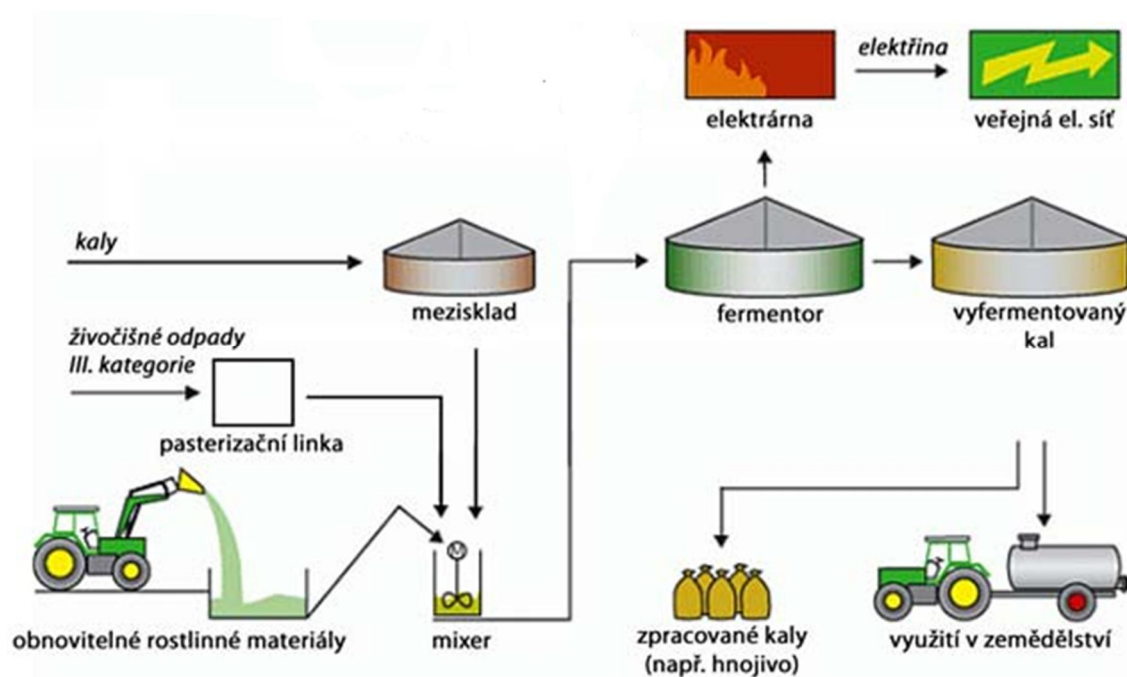
5.2.1 Bioplynová stanica v í ov

Bioplynová stanica je príkladom mokrej fermentácie a nachádza v obci í ov, východne od mesta Spálené Poříčí v okrese Plzeň. Bioplynová stanica bola spustená do prevádzky v novembri roku 2011 pod vedením EZ Obnovitelné zdroje, s.r.o. Hlavným zdrojom paliva tejto bioplynovej stanice je hovädzia a prasacia hnojovka z blízkej farmy a neďalekého okolia. Taktiež sa ako palivo ešte používajú energetické plodiny trávne a kukuričné siláže. Cieľom výstavby bioplynovej stanice v í ove je zásobovanie okolo 1000 domácností elektrickou energiou.

Bioplynová stanica sa skladá z dvoch fermentorov. Prvý fermentor je menší o objeme 870 m³ a druhý fermentor je väčší a má objem 2000 m³. Ďalšími časťami sú skladovacia nádrž, homogenizačná nádrž a dávkovacia nádrž s objemom 50 m³. Z dávkovacej nádrže je pomocou pravidelných časových intervalov zaručený presný objem paliva pridávaný do fermentačnej nádrže. Súčasťou stanice je aj separátor, ktorý zaručuje separáciu digestátu na tuhý separát a tekutý fugát. Tekutý fugát sa zvykne pridávať do reagujúceho paliva čím sa udržiava pomer sušiny. Na druhej strane sa tuhé separátne zbytky využívajú ako súčasná hnojiva alebo sa z nich vyrábajú malé peletky na spaľovanie [19].

Tab. 5.4 Základné parametre bioplynovej stanice í ov [19].

Inštalovaný elektrický výkon	526 kW
Ročná prevádzka	7750 hod.
Elektrická účinnosť	40,4 %
Dodávaná ročná elektrina	3,372 GWh



Obr. 5.1 Základné schéma bioplynovej stanice í ov.



Obr. 5.2 Bioplynová stanica í ov [20].

5.2.2 Bioplynová stanica TĚmperk

Bioplynová stanica TĚmperk je příkladem suchej fermentácie. TĚmperk sa nachádza na severe Moravy v Olomouckom kraji. Bioplynová stanica je v prevádzke od roku 2009 a jej investorom bola Prvá bioplynová TĚmperk, s.r.o. Základným dodávateľom stavebných prác bola firma FORTEX - AGS, a.s. Bioplynová stanica vyrába teplo pre vlastnú potrebu, ktorého je 20 % z celkovej vyrobenej tepelnej energie. Zvyšok tepelnej energie 80 % s celkovou elektrickou energiou sú dodávané do mesta TĚmperk.

Vstupnými surovinami pre výroby bioplynu sú kukuričná a trávna siláž, hnoj zo flivovej výroby. Výroba bioplynu prebieha v garážových fermentoroch s plynotesnými dvermi. V stanici sa nachádza celkovo šesť fermentorov o objeme 938 m³. Tieto fermentory majú zabudované ohrievanie a fungujú na princípe perkolátneho hospodárstva. To znamená, že po tom ako je biomasa uzavretá vo fermentore za nej sa vyhrieva na teplotu 38 °C a postrekova perkolátom aby sa podpril vznik mikrokultúr na povrchu biomasy. Po prvých troch dňoch sa odstráni vzduch z fermentačnej komory a následne začína produkcia bioplynu, ktorý je odvádzaný do plynových vakov a následne putuje do kogeneračnej jednotky. Celkový proces trvá 28 dní [21].

Tab. 5.5 Základné údaje o bioplynovej stanici TĚmperk [21].

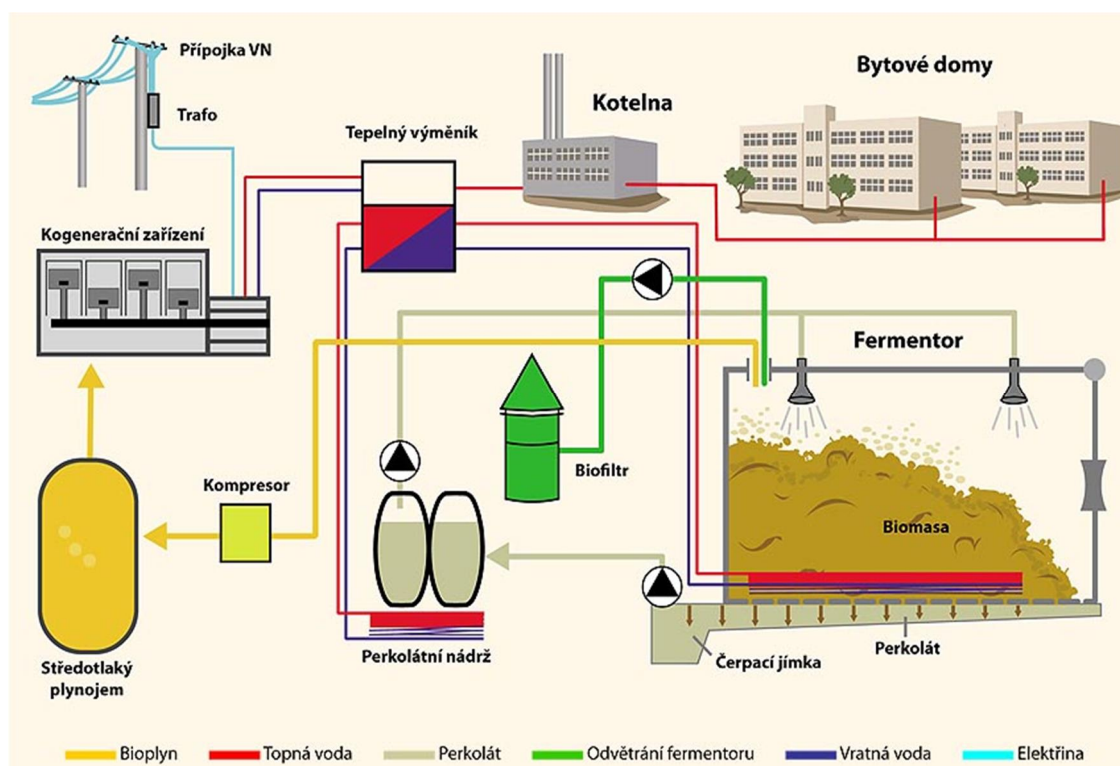
Inštalovaný elektrický výkon	526 kW
Inštalovaný tepelný výkon	548 kW
Roková spotreba biomasy	13300 ton
Roková produkcia elektrickej energie	3.700 MWh
Roková produkcia tepelnej energie	14,600 GJ



Obr. 5.3 Bioplynová stanica TĚmperk [21].



Obr. 5. 4 Kogenerační jednotka [22].



Obr. 5. 5 Základný princíp bioplynovej stanice TMImperk [21].

5.3 ORC inštalácie

5.3.1 Trhové Sviny

Tepláre v Trhových Svinách, ktorá leží v Juho západnom kraji má už dlhú históriu, kde sa jej začiatky datujú od roku 1977. Najprv bolo hlavným zdrojom pre vytápanie mesta hnedé uhlie, z ktorého sa postupne v rokoch 1993-1997 prešlo na plyn. Následne sa začalo uvažovať nad alternatívnym zdrojom energie a z týchto dôvodov bol v roku 1999 spustený kotol na biomasu. Hlavnými zdrojmi biomasy bola drevná štiepka, piliny a kôra. Po istej prevádzkovej dobe sa začalo uvažovať nie len nad tepelnou ale aj elektrickou energiou z biomasy, preto sa v roku 2004 začalo s inštaláciou ORC systému. V súčasnej dobe mesto zásobuje teplom 80 odberateľov, 400 obytných bytov a 32 domových jednotiek. Tepláreň sa skladá z nasledujúcich inštalovaných zdrojov [15] :

- 3 plynové kotle s výkonom 3 x 3000 kW
- teplovodný kotol Kohlbach K8 2500 o výkone 2500 kW
- teploolejový kotol Kohlbach o výkone 3500 kW
- jednotka ORC o elektrickom výkone 600 kW



Obr. 5.6 Inštalácia ORC jednotky [15].



Obr. 5.7 Turbína ORC jednotky [15].

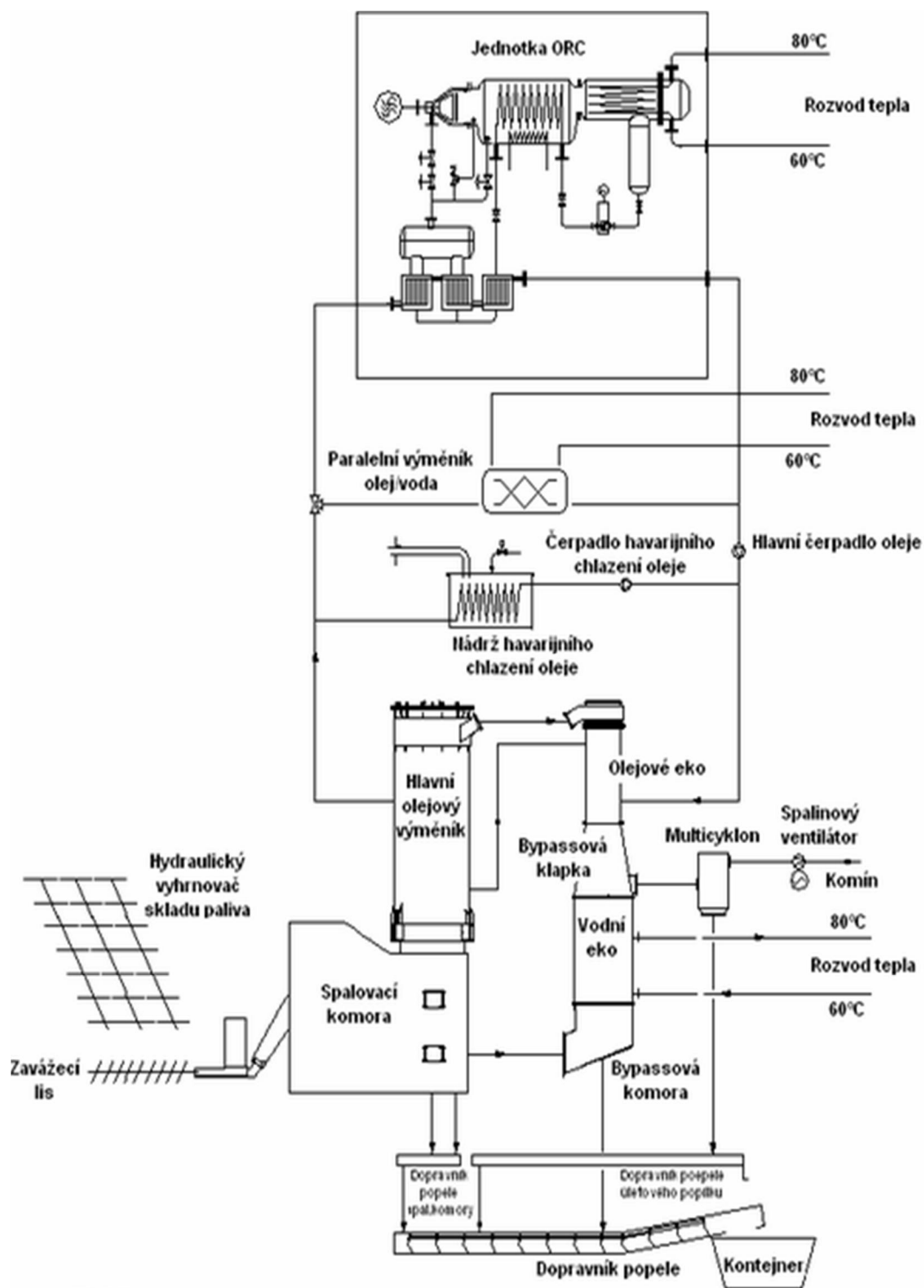
5.3.2 Tepláre T ebí óSever

Mesto T ebí sa nachádza na západe Moravy a nachádza sa v om tepláre , ktorá bola pred tým bývalá uholná kotol a. Tepláre funguje od roku 2000 a produkuje tepelnú a elektrickú energiu pre 4600 bytových jednotiek a 60 napojených objektov. Energia sa vyrába z biomasy (drevnej –tiepky a slamy), tak isto ale aj zo zemného plynu a LPG. Tepláre dosahuje celkový tepelný výkon zdroja 4 MW a celkový elektrický výkon zdroja 1570 kW. Základnými komponentami sústavy sú nasledovné zariadenia [16]:

- Kotol VESKO-S s výkonom 5,0 MWt na spa ovanie balíkov slamy
- Kotol VESKO-B o výkone 3,0 MWt na spa ovanie drevnej biomasy
- Kotol VESKO-T (termoolejový kotol) o výkone 7,0 MWt na spa ovanie drevnej biomasy
- Spalinový kondenzátor 1 MWt
- Zariadenia ORC s výkonom 1 MWe na výrobu elektrickej energie
- Plynový kotol s výkonom 6 MWt
- Plynový kotol s výkonom 6 MWt
- Plynový kotol s výkonom 5 MWt
- Kombinovaný kotol o výkone 6 MWt - spa ovanie LTO, zemný plyn
- Kombinovaný kotol o výkone 5 MWt - spa ovanie LTO, zemný plyn
- Kogenera nej jednotky Tedom - 2 x 140 kWe, 2 x 132 kWe, 22 kWe



Obr. 5.8 Tepláre T ebí óSever [16].



Obr. 5.9 Teplárna Třebíšov Sever [17].

5.4 Sply ovacia elektrárne v Kozomín

Sply ovacia elektrárne v Kozomín, v blízkosti Kralup nad Vltavou patrí medzi unikátne zariadenia v eskej Republike. Vznikla na základe spolupráce viacerých eských firiem, výskumných pracovníkov z Vysokej školy chemicko-technickej v Prahe a vedcov z Akadémie vied v R. Základným vstupným palivom je drevná –tiepka, ktorá pomocou procesu termického sply ovania vyrába elektrickú energiu. Drevná –tiepka sa pomocou pásového dopravníka dostáva do sply ovacieho reaktoru, kde sa pri teplotách 1100 až 1200 °C generuje horúci plyn a vzduch. Elektrárne je schopná vyprodukovať 3000 MWh mesa ne elektrickej energie, čo zabezpečuje okolo 3000 domácností [24].

Hlavným cieľom projektu bolo vytvoriť moderný ekologický areál, v ktorom sa okrem elektrickej energie vyrábajú taktiež takzvané materské papierové rolky, z ktorých sa následne vyrába toaletné papiere, hygienické vreckovky [24].



Obr. 5.10 Proces výroby v elektrárně [24].

6 ZÁVER

V úvodnej časti bakalárskej práce sa zaoberáme základným rozdelením technológií, z ktorých sme schopný získať využiť ich energetický potenciál. Energetický potenciál sa prejavuje v tepelnej a elektrickej energii alebo vo forme bio-olejov, ktoré sa používajú ako palivá.

Nasledujúcou časťou práce bolo zmapovanie jednotlivých druhov technológií a ich rozdelenie na podskupiny. Na začiatku sme a pre uvedenie do problematiky oboznámili s najtradičnejšou metódou, ktorá sa volá spaľovanie. Potom sme prešli postupne na menej tradičné termo-chemické premeny splývania a pyrolýzu. V samostatnej časti sme sa oboznámili s pojmom torifikácia, ktorý sa v posledných rokoch najmä v západných štátoch Európskej Únie dosahuje svoj rozkvet. Na záver tejto časti bolo v jednoduchosti opísané používanie ORC jednotiek spolu s ich hlavnými výhodami.

Neodmysliteľnou súčasťou bakalárskej práce bolo opísať základné palivo pre menej tradičné technológie, ktorým je biomasa. Zmienili sme sa o tom, kde patrí do obnoviteľných zdrojov energie a taktiež sme sa zmienili o jej vzniku, ktorý patrí k základným procesom života na Zemi. Následne sme prešli na rozdelenie biomasy do jednotlivých skupín na základe špecifických vlastností. Taktiež sme zmienili najvýznamnejšie energetické vlastnosti, ktoré sú veľmi dôležitým faktorom pri určovaní vhodného druhu biomasy pre jednotlivé technológie.

V poslednej časti bakalárskej práce sme sa oboznámili s jednotlivými praktickými aplikáciami menej tradičných technológií v slovenskej Republike. Zameriavali sme sa na aplikácie, ktorým hlavným cieľom je výroba elektrickej energie. Najprv sme zmapovali situáciu bioplynových staníc, pretože patria medzi najrozšírenejšie v SR. Podrobnejšie sme si predstavili bioplynovú stanicu v Bratislave, ktorá bola príkladom mokrej fermentácie. Na druhej strane sme sa taktiež oboznámili so suchou fermentáciou v bioplynovej stanici v Trnave. Potom sme prešli na aplikácie ORC, ktoré sú inštalované za účelom elektrickej energie. Zamerali sme sa na dve praktické aplikácie a to v Trhových Sviniciach a v Trnave. V závere tejto časti sme si predstavili splývajúcu elektrárňu v Kozomínoch. V tejto časti som taktiež mala záujem zmapovať pyrolýzu ako technológiu ale v SR ale nenášla som žiadne konkrétne aplikácie okrem výskumnej jednotky na Vysoké Tatry.

Menej tradičné technológie majú iste veľký potenciál v slovenskej Republike, čo je spôsobené hlavne tým, že v krajine sa nachádza dostatočné množstvo biomasy, ktorú sme schopní spracovať. Druhým neodmysliteľným dôvodom je, že normy Európskej Únie sú čím ďalej, tým prísnejšie a snažia sa dosiahnuť to aby sa využívali obnoviteľné zdroje čo najviac. Ako už bolo spomenuté bioplynové stanice patria medzi najpoužívanejšie ale na druhej strane si myslím, že ešte aj pyrolýza a splývajúce zariadenie svoj rozkvet ako v západných štátoch.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] JANDA KA, J. et. al., *Biomasa ako zdroj energie*. 1.vyd. filina, 2007. ISBN 978-80-9638595-5-8.
- [2] JANDA KA, J. et. al., *Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy*. 1. filina, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.
- [3] OCHODEK, T. et.al., *Technologie pro p ípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava : V^{TNB} - Technická univerzita Ostrava ,2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [4] BALÁTM Marek. *Kotle a výmeníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [5] *Atlas zařízení používaných obnovitelné zdroje energie*. [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/list.php?type=3>
- [6] OCHODEK, Tadeáš, NAJSER, Jan, HORÁK, Jiří, *Splyovanie biomasy*. [online]. [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://www.szn.sk/slovagas/Csasopis/2009/4/2009>
- [7] STEHLÍK, P. et.al. : *Tepelné pochody. Výpočet výmeníku tepla*, 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 129 s., ISBN 80-214-0363-2.
- [8] MOLEK, Tomáš. *Pyrolýza a principy. Historie a současnost*. [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/>
- [9] TRÁVNÍK, P. et. al., *Technologie zpracování biomasy za účelom energetického využitia travniciek*, Brno, 2015, ISBN 978-80-7509-206-9
- [10] *Princip výroby bioplynu*. [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.bioteck.eu/sk/bioplynove-stanice/technologie-a-chemicke-procesy/73-anaerobna-fermentacia>
- [11] TMKOVRAN, Ondrej. *Suchú, alebo mokrú fermentáciu*. [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [12] *Energia z biomasy*. [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.oze.stuba.sk/oze/energia-z-biomasy/>
- [13] NOVOTNÝ, Václav. *Přestavba kotlovny na biomasu*. [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prestavba-kotelny-na-biomasu>

- [14] KUNC, Jan a Libor, NOVÁK. Biomasa ó efektívne palivo pre ORC technológiu. [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>
- [15] KUNC, Jan. *Teplár a na biomasu Trhové Sviny*. [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2834-orc-technologie-v-realizaci-ii-trhove-sviny-srovnani>
- [16] *Tepláre T ebí* . [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.tts.cz/cz/ergo/zdroje-tepla-teplarna-sever.html>
- [17] KUNC, Jan. *ORC technológie v realizácií*. [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2537-orc-technologie-v-realizaci-i-lienz-trebic>
- [18] *Zoznam bioplynových staníc*. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/?strana=64>
- [19] *Bioplynová stanica í ov*. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/bioplyn/bioplynova-stanice-cicov.html>
- [20] *Bioplynová stanica í ov*. [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: [http://www.kbelektro.cz/en/foto-nahled.php?qImg=reference/162-1-big.jpg&qPopis=Bioplynov%20stanice%20C8%ED%E8ov%20\(u%20Sp%E1len%E9ho%20Po%F8%ED%E8%ED\)&qImgid=162](http://www.kbelektro.cz/en/foto-nahled.php?qImg=reference/162-1-big.jpg&qPopis=Bioplyn%20stanice%20C8%ED%E8ov%20(u%20Sp%E1len%E9ho%20Po%F8%ED%E8%ED)&qImgid=162)
- [21] *Bioplynové stanice suchá anaerobná fermentácia* .[online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.fortexbioplyn.cz/cz/sucha-fermentace/>
- [22] *Suché bioplynové stanice*. .[online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6080819-Suche-bioplynove-stanice-suche-bps.html>
- [23] *Bioplynové stanice* .[online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bioplynova-stanice.dic>
- [24] *Elektrár a v Kozomín* .[online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/energie/elektrarna-v-kozomine-unikatni-ceska-technologie-je-uz-v-ostrem-provozu>
- [25] VOBORIL, D. *Biomasa-využitie , spracovanie, výhody a nevýhody, energetické využitie v R*. [online]. [cit. 2017-15-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>

- [26] Bioplynové stanice .[online]. [cit. 2017-15-05]. Dostupné z: <http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynove-stance/>